

明 細 書

撮像装置

技術分野

- [0001] 本発明は撮像装置に関する。特に、多数の画素を有する固体撮像素子の被写体側に複数の微小レンズを配列した微小レンズアレイを配置した撮像装置に関する。

背景技術

- [0002] 近年市場規模が大きくなりつつあるデジタルスチルカメラの市場においては、より携帯性に優れた小型・薄型のカメラに対するニーズが高まってきている。信号処理を担うLSI等の回路部品は、配線パターンの微細化などにより高機能で小型化が進んでいる。また、記録メディアも小型・大容量のものが廉価にて入手できるようになってきている。しかしながら、レンズとCCDやCMOSなどの固体撮像素子とで構成される撮像系の小型化は未だ十分とは言えず、より携帯性に優れたカメラを実現するためにも小型の撮像系の開発が要望されている。
- [0003] 撮像系の小型化を実現するための構成として、平面上に複数の微小レンズを配列したレンズアレイ光学系を用いたものが知られている。従来の光軸上に複数のレンズを並べた光学系は、光軸方向に長くなるため体積が増大し、またレンズ径が大きいいため収差が大きくなるという問題を有していた。これに対して、レンズアレイ光学系は、光軸方向に薄くでき、かつ個々の微小レンズ径が小さいため収差を比較的小さく抑えることが可能である。
- [0004] このようなレンズアレイを用いた撮像系が特許文献1に開示されている。この撮像系は、被写体側から順に、複数の微小レンズが平面内に配列された微小レンズアレイと、微小レンズと一対一に対応する複数のピンホールが平面内に形成されたピンホールマスクと、各ピンホールを通過した光が結像する像平面とを備える。各微小レンズはピンホールマスク上にそれぞれ被写体の縮小像を形成し、各ピンホールはこの縮小像の互いに異なる部分の光を通過(サンプリング)させる。その結果、像平面上に被写体の光学像が形成される。
- [0005] しかしながら、上記特許文献1の撮像系では、像平面上に形成される被写体の光

学像の解像度は微小レンズ(即ちピンホール)の個数および密度によって決まるため、高画質化は困難であった。つまり、対をなす微小レンズとピンホールとからなる構成単位の配置が、得られる画像のサンプリング点の配置を決定するので、高画質化のためには、上記構成単位の個数を多くしてサンプリング点数を増やすとともに、個々の微小レンズを小型化して上記構成単位の配列ピッチを小さくする必要がある。ところが、微小レンズの小型化には限界があるため、高解像度化は困難であった。また、ピンホールによって像平面に達する光束を制限しているため、光量ロスも大きく感度の面でも課題があった。

[0006] 上記の課題を解決する別のレンズアレイを用いた撮像系が特許文献2に開示されている。この撮像系は、被写体側から順に、複数の微小レンズが平面内に配列された微小レンズアレイと、各微小レンズアレイからの光信号が互いに混信しないように分離するための格子枠状の隔壁からなる隔壁層と、平面内に配置された多数の光電変換素子とを備える。1つの微小レンズと、これに対応する、隔壁層によって分離された1つの空間と、複数の光電変換素子とが、1つの結像ユニットを構成する。

[0007] 個々の結像ユニットにおいて、微小レンズが、対応する複数の光電変換素子上に被写体の光学像を結像する。これにより、結像ユニットごとに撮影画像が得られる。この撮影画像の解像度は1つの結像ユニットを構成する光電変換素子の数(画素数)に対応する。被写体に対する個々の微小レンズの相対的位置が異なることにより、複数の光電変換素子上に形成される被写体の光学像の結像位置が結像ユニットごとに異なる。その結果、得られる撮影画像は結像ユニットごとに異なる。この互いに異なる複数の撮影画像を信号処理することにより、一つ画像を得ることができる。この撮像系では、個々の結像ユニットを構成する画素数は少ないため、個々の結像ユニットから得られる撮影画像の画質は低い。が、複数の結像ユニットにおいてそれぞれ得られる少しずつずれた撮影画像を用いて信号処理して画像を再構築することにより、多数の光電変換素子で撮影した場合と同様の画質の映像を得ることができる。

特許文献1:特公昭59-50042号公報

特許文献2:特開2001-61109号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0008] しかしながら、上記の特許文献2の撮像系では、結像ユニットを構成する複数の光電変換素子のうち、微小レンズの光軸から離れた位置(即ち周辺部)に配置された光電変換素子ほど、光束の入射角が増大する。
- [0009] その結果、大きな入射角で入射する光束が、光電変換素子の周囲の構造物によりけられ、光損失を生じる。これにより、各結像ユニットにおいて、周辺部の光電変換素子ほど出力信号強度が低下してしまい、複数の結像ユニットから得られた複数の撮影画像を再構築して得られる1つの画像の画質が低下してしまう。また、光電変換素子に入射しない光束は、内部反射などにより意図しない光電変換素子に入射して、画質低下を招く原因にもなる。
- [0010] 本発明の目的は、各結像ユニットにおいて、光損失が少なく、且つ迷光の発生を抑えることができ、周辺部まで高画質の画像を得ることができる撮像装置を提供することである。
- [0011] また、本発明の目的は、各結像ユニットにおいて、微小レンズからの光がけられることなく光電変換素子に入射することができ、その結果、高画質の画像を得ることができる撮像装置を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0012] 上記目的の一つは、以下の撮像装置により達成される。被写体の像を電気的な画像信号として出力可能な撮像装置であって、第1平面に2次元配列され、それぞれ光電変換機能を有する画素を含む固体撮像素子と、第1平面と平行で且つ離間した第2平面内に2次元配列される微小レンズからなるレンズアレイとを備え、固体撮像素子は、複数の画素からなる単位撮像領域を含み、各微小レンズは、それぞれ対応する単位撮像領域に被写体の光学像を形成するとともに、各微小レンズに対応する単位撮像領域に含まれる画素のうち、その微小レンズの光軸に対して最も遠い位置にある画素について下記式(1)を満足することを特徴とする。

$$\arctan(L/f) \leq \theta \quad \cdots (1)$$

ただし、

θ : 各画素に入射可能な光線の最大入射角、

f:各微小レンズの焦点距離、

L:1つの微小レンズに対応する単位撮像領域に外接する円の直径、である。

- [0013] また、各画素は、入射側にそれぞれ画素レンズを有してもよい。その場合、各微小レンズに対応する単位撮像領域に含まれる画素のうち、その微小レンズの光軸に対して最も遠い位置にある画素について下記式(1)のかわりに、下記式(2)を満足する。

$$\arctan(L/f) \leq \arcsin NA \cdots (2)$$

ただし、

NA:画素レンズの開口数、である。

- [0014] また、各画素は、入射側にそれぞれ画素レンズを有し、少なくとも一つの画素レンズは、対応する画素の光電変換部分の中心に対してその光軸を位置ずれさせて配置させてもよい。この場合、各微小レンズに対応する単位撮像領域に含まれる画素のうち、その微小レンズの光軸に対して最も遠い位置にある画素について下記式(1)のかわりに、下記式(3)を満足する。

$$\arctan(L/f) - \phi \leq \arcsin NA \cdots (3)$$

ただし、

NA:各画素レンズの開口数、

ϕ :第1平面の法線に対して画素レンズの入射側の頂点と単位撮像領域の中心とを結ぶ直線がなす角度、である。

- [0015] CCDやCMOSなどに代表される固体撮像素子では、光電変換を行う光電変換部分(以下、「受光部」という)は、その撮像素子の一部を占めるに過ぎず、且つ撮像素子の表面に配置されているわけではない。したがって、一般に、撮像素子上に入射する光束は、その入射角が大きいと、受光部の周囲の構造物によりけられ、反射され、受光部に入射することができない。

- [0016] ところが、本発明の上記の撮像装置によれば、受光部に入射する光束の入射角が適切に規制され、光束がけられることがない。従って、光損失が少なく、且つ迷光の発生を抑えることができるので、高画質画像を得ることができる。

- [0017] 上記の本発明の撮像装置において、1つの前記微小レンズに対応する複数の前記

画素からの各出力信号が、前記微小レンズの光軸からの前記各画素の距離に応じて予め設定された補正係数により補正されることが好ましい。これにより、各結像ユニットにおいて、微小レンズの光軸から遠い画素の受光部ほど入射光量が低下し、これにより出力信号強度が低下するという問題を解消できる。その結果、周辺部まで高画質の画像を得ることができる。

[0018] また、少なくとも一つの画素レンズが、対応する画素の光電変換部分の中心に対してその光軸を位置ずれさせて配置されている場合、画素レンズは、対応する画素の光電変換部分の中心に対して、微小レンズの光軸に接近する方向にその光軸を位置ずれさせて配置するとよい。

[0019] 上記の本発明の撮像装置によれば、受光部に入射する光束の入射角が適切に設定され、光束がけられることを抑えることができる。従って、光損失が少なく、且つ迷光の発生を抑えることができるので、周辺部まで高画質画像を得ることができる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、各結像ユニットにおいて、光損失が少なく、且つ迷光の発生を抑えることができ、周辺部まで高画質の画像を得ることができる撮像装置を提供することができる。

[0021] また、本発明によれば、各結像ユニットにおいて、微小レンズからの光がけられることなく光電変換素子に入射することができ、その結果、高画質の画像を得ることができる撮像装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]図1は、本発明の実施の形態1の撮像装置の概略構成を示した斜視図である。

[図2]図2は、本発明の実施の形態1の撮像装置を構成する結像ユニットの、微小レンズの光軸を含む面での断面図である。

[図3]図3は、本発明の実施の形態1の撮像装置において、受光部近傍の拡大断面図である。

[図4]図4(A)は、本発明の実施の形態1の撮像装置において、固体撮像素子からの信号の処理の概略を示した図、図4(B)は、本発明の実施の形態1の撮像装置において、結像ユニットを構成する受光部を示した斜視図である。

[図5]図5は、本発明の実施の形態2の撮像装置を構成する結像ユニットの、微小レンズの光軸を含む面での断面図である。

[図6]図6は、本発明の実施の形態2の撮像装置において、受光部近傍の拡大断面図である。

[図7]図7は、本発明の実施の形態3の撮像装置を構成する結像ユニットの、微小レンズの光軸を含む面での断面図である。

[図8]図8は、本発明の実施の形態3の撮像装置において、受光部近傍の拡大断面図である。

[図9]図9は、本発明の実施の形態4の撮像装置を構成する結像ユニットの、微小レンズの光軸を含む面での断面図である。

[図10]図10は、本発明の実施の形態5の撮像装置において、固体撮像素子からの信号の処理の概略を示した図である。

[図11]図11は、本発明の実施の形態6に係る撮像装置の概略構成を示した斜視図である。

[図12]図12は、本発明の実施の形態6に係る撮像装置の隣り合う2つの微小レンズの光軸を含む面での断面図である。

[図13]図13は、本発明の実施の形態6に係る撮像装置の一つの結像ユニットを示す拡大断面図である。

[図14]図14は、本発明の実施の形態6に係る撮像装置における受光部近傍の拡大断面図である。

[図15]図15(A)は、本発明の実施の形態6に係る撮像装置において、固体撮像素子からの信号の処理の概略を示した図、図15(B)は、本発明の実施の形態6に係る撮像装置において、結像ユニットを構成する受光部を示した斜視図である。

符号の説明

- [0023] 10 固体撮像素子
- 10a 第1平面の法線
- 11 画素
- 12 受光部(光電変換部分)

- 13, 14 画素レンズ
- 15 第2画素レンズ
- 20 微小レンズアレイ
- 21 微小レンズ
- 21a 微小レンズの光軸
- 30 隔壁層
- 40 結像ユニット
- 110 固体撮像素子
- 110a 第1平面の法線
- 111 画素
- 112 受光部(光電変換部分)
- 112a 受光部の中心線
- 113 画素レンズ
- 113a 画素レンズの光軸
- 120 微小レンズアレイ
- 121 微小レンズ
- 121a 微小レンズの光軸
- 130 隔壁層
- 140 結像ユニット

発明を実施するための最良の形態

[0024] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

[0025] (実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1の撮像装置の概略構成を示した斜視図である。図1において、撮像装置は、第1平面内の縦横方向に多数2次元配列された画素11を備える固体撮像素子10(例えば、CCDやCMOS)と、第1平面と平行で且つ離間した第2平面内の縦横方向に2次元配列された複数の微小レンズ21を備える微小レンズアレイ20とを含む。固体撮像素子10は、複数の画素11からなる単位撮像領域を含み、各微小レンズは、それぞれ対応する単位撮像領域に被写体の光学像を形成

する。すなわち、被写体からの光束は複数の微小レンズ21に入射して、各微小レンズ21は、対応する単位撮像領域上に被写体の光学像を形成する。

[0026] また、隔壁層30は、微小レンズ21からの光がその微小レンズ21には対応しない画素11に入射して、クロストークが生じるのを防止するために、微小レンズ21の配置に対応して格子枠状に配置される。1つの微小レンズ21と、隔壁層30により分割された1つの空間と、該微小レンズ21に対応する単位撮像領域に含まれる複数の画素11とが、1つの結像ユニット40を構成する。なお、隔壁層30は、異なる結像ユニット40の微小レンズ21からの光束が画素11に入射するのを問題のない程度に防止できるのである、省略可能である。

[0027] 図2は、本実施の形態の撮像装置の1つの結像ユニット40の、微小レンズ21の光軸21aを含む面での断面図である。図2では隔壁層30は省略している。画素11は、光軸21aに対してほぼ軸対称に配置される。

[0028] CCDやCMOSなどに代表される固体撮像素子10において、各画素11に配置された光電変換を行う受光部(光電変換部分)12は、一般に、固体撮像素子10の表面ではなく、図2のように凹部内の底部に配置されている。従って、受光部12に入射できる光線の入射角度には上限が存在する。図2から明らかなように、微小レンズ21の光軸21aから遠い位置にある受光部12ほど、微小レンズ21からの光線の入射角度が大きくなる。

[0029] 図3は、受光部12近傍の拡大断面図である。図3において、法線10aは、受光部12が配置された第1平面に対して規定される。また、最大入射角 θ は、受光部12に入射可能な光線に対して規定される。入射角 α は、微小レンズ21からの光線2の受光部12に対して規定される。図3において、微小レンズ21からの光線2がけられることなく受光部12に入射するためには、 $\alpha \leq \theta$ である必要がある。

[0030] 図2に示すように、微小レンズ21の焦点距離を f 、1つの微小レンズ21に対応する複数の画素11が配置された領域(即ち、固体撮像素子10のうち、1つの結像ユニット40の光軸21aに沿った投影領域)に外接する円の直径を L とすると、光軸21aから最も遠い画素(受光部12)において入射角 $\alpha = \arctan(L/f)$ である。

[0031] 従って、撮像装置は、

$$\arctan(L/f) \leq \theta \quad \cdots (1)$$

を満足する必要がある。

[0032] 光軸21aから最も遠い画素11の受光部12について上記式(1)を満足するとき、微小レンズ21からの光束は、対応する全ての受光部12に、固体撮像素子10の構造物によってけられることなく入射する。より正確には、上記式(1)を満足するとき、微小レンズ21から受光部12に入射する光束が無収差の場合には、損失なく光束が受光部12に入射し、収差を含む場合には、光束の損失を最低限に抑えることができる。

[0033] なお、上記において、光軸21aは上記外接円の中心をほぼ通過し、この外接円の直径Lは、通常は、微小レンズ21の有効部に外接する円の直径に一致する。更に、本実施の形態では、光軸21aに沿って見た結像ユニット40の形状は略正方形であるから、直径Lはこの正方形の対角線の長さに一致する。

[0034] 次に、固体撮像素子10の各受光部12に入射した光束から画像を得る方法を図4(A)及び図4(B)を用いて説明する。図4(A)に示すように、結像ユニット40ごとに、微小レンズアレイ20の微小レンズ21は、被写体90の像91を固体撮像素子10上に結像する。固体撮像素子10の各受光部12は入射した光束を光電変換する。ここで、固体撮像素子10の垂直軸をx軸、水平軸をy軸とし、位置(x, y)にある受光部12からの信号をI(x, y)とすると、固体撮像素子10に含まれる全ての受光部12についての信号I(x, y)が読み出される(ステップ101)。

[0035] 次に、この各受光部12からの信号I(x, y)を結像ユニット40ごとに分割する。即ち、図4(B)に示すように、受光部12がm列×n行に配置された結像ユニット40内の第i列、第k行の位置にある受光部12の位置を $(i, k)_{(m, n)}$ とし、この受光部12からの信号を $I(i, k)_{(m, n)}$ とすると、上記各信号I(x, y)を結像ユニット40内における信号 $I(i, k)_{(m, n)}$ として取り扱う。この結果、結像ユニット40ごとにm列×n行の画素からなる画像が再構成される(ステップ103)。

[0036] その後、異なる結像ユニット40間において、信号 $I(i, k)_{(m, n)}$ を処理して1枚の画像を再構築する(ステップ105)。この信号処理としては、上記特許文献2に記載された方法を用いることができ、その詳細説明を省略する。結像ユニット40内における被写体の光学像91の形成位置が結像ユニット40ごとに異なるために、位置(i, k)が同

じ受光部12からの信号 $I(i, k)_{(m, n)}$ は結像ユニット40ごとに異なる。従って、1つの結像ユニット40に含まれる受光部12の数($m \times n$ 個)を遙かに超えた高解像度の画像が得られる。

[0037] 本実施の形態によれば、各結像ユニット40において、微小レンズ21からの光束は、全ての受光部12に、固体撮像素子10の構造物によってけられることなく入射する。従って、受光部12に、その位置にかかわらず、十分な光が入射し、高コントラストの信号 $I(x, y)$ が得られる。その結果、被写体の微細な構造まで再構築することができる。

[0038] また、上記の信号処理において、被写体90の同一位置の信号の強度が結像ユニット40ごとに異なると、再構築される画像のコントラストや解像度が低下するなどの画質劣化を生じる。本実施の形態の撮像装置は、上記の式(1)を満足することにより、各結像ユニット40を構成する全ての受光部12に、光束がけられなく入射するので、結像ユニット40間において、被写体90の同一位置の信号の強度差を小さくすることができる。この結果、高画質画像を得ることができる。

[0039] さらに、光束のけられを抑えることができるので、反射した光束が意図しない受光部12に入射するのを低減できる。従って、迷光による画質劣化を防止できる。

[0040] (実施の形態2)

本発明の実施の形態2の撮像装置を、実施の形態1との相違点を中心に説明する。図5は、本実施の形態の撮像装置の1つの結像ユニット40の、微小レンズ21の光軸21aを含む面での断面図である。本実施の形態では、固体撮像素子10の受光部12の入射側に、受光部12と一対一に対応して画素レンズ13が設けられている点で実施の形態1と異なる。実施の形態1と同一機能を有する要素には同一の符号を付してそれらについての説明を省略する。

[0041] 画素レンズ13は、「オンチップレンズ」とも呼ばれ、受光部12以外のところに結像しようとする光束を受光部12に導く。画素レンズ13の配置ピッチと受光部12の配置ピッチとは同一であり、画素レンズ13の光軸は、対応する受光部12のほぼ中心を通る。光軸21aに沿って見た固体撮像素子10の面において受光部12の占める面積はその一部に過ぎない。従って、画素レンズ13を有しない実施の形態1の固体撮像素子

10では、微小レンズ21からの光束は、その一部が受光部12に入射し、残りは受光部12に入射せずに反射し、これが光量ロスとなる。本実施の形態のように、受光部12より大きな有効径を有する画素レンズ13を受光部12の入射側に設けることにより、集光効率を改善し、光量ロスを低減し、受光感度を向上させることができる。また、受光部12以外の部分で反射して生じる迷光を低減し、これによる画質劣化を低減できる。

[0042] 図6は、受光部12近傍の拡大断面図である。画素レンズ13を設けた場合であっても、実施の形態1の場合と同様に、受光部12に入射可能な光線の最大入射角 θ が存在する。 α は微小レンズ21からの光線2の受光部12に対する入射角である。微小レンズ21からの光線2が、けられることなく受光部12に入射するためには、 $\alpha \leq \theta$ である必要がある。

[0043] ここで、画素レンズ13の開口数をNAとすると、最大入射角 θ はNAに依存し、 $\theta = \arcsin NA$ がほぼ成立する。また、図5に示すように、微小レンズ21の焦点距離をf、1つの微小レンズ21に対応する複数の単位撮像領域(即ち、固体撮像素子10のうち、1つの結像ユニット40の光軸21aに沿った投影領域)に外接する円の直径をLとすると、光軸21aから最も遠い画素(受光部12)において入射角 $\alpha = \arctan(L/f)$ である。

[0044] 従って、撮像装置は、

$$\arctan(L/f) \leq \arcsin NA \quad \cdots (2)$$

を満足する必要がある。

[0045] 光軸21aから最も遠い画素11の受光部12について上記式(2)を満足するとき、実施の形態1と同様に、微小レンズ21からの光束は、対応する全ての受光部12に、固体撮像素子10の構造物によってほとんどけられることなく入射する。

[0046] 画素レンズ13がその製造プロセス上の理由により完全な球面レンズでないことが多いため、上述した $\theta = \arcsin NA$ の関係が成立しない場合も存在する。しかしながら、そのような場合であっても、上記式(2)を満足することにより光量損失を抑制することが可能である。

[0047] 固体撮像素子10からの出力信号に基づいて画像を得る方法は実施の形態1と同

様である。本実施の形態によれば、実施の形態1の場合と同様に、高画質画像を得ることができる。

[0048] (実施の形態3)

本発明の実施の形態3の撮像装置を、実施の形態1、2との相違点を中心に説明する。図7は、本実施の形態の撮像装置の1つの結像ユニット40の、微小レンズ21の光軸21aを含む面での断面図である。本実施の形態では、実施の形態2と同様に、固体撮像素子10の受光部12の入射側に、受光部12と一対一に対応して画素レンズ14が設けられている。但し、本実施の形態は、少なくとも一つの画素レンズ14の光軸は、対応する受光部12の中心に対して位置ずれしている点で、全ての画素レンズ13の光軸が、対応する受光部12の中心を通る実施の形態2と異なる。画素レンズ14の光軸の受光部12の中心に対するずれ量は、固体撮像素子10に含まれる全ての画素レンズ14について同一である必要はない。例えば、画素レンズ14の光軸の受光部12の中心に対するずれ量が、固体撮像素子10の受光領域の中央においてはほぼゼロであり、これより周辺にいくに従って徐々に増加していても良い。実施の形態1、2と同一機能を有する要素には同一の符号を付してそれらについての説明を省略する。

[0049] 画素レンズ14は、実施の形態2の画素レンズ13と同様に、集光効率を改善し、光量ロスを低減し、受光感度を向上させることができる。また、受光部12以外の部分で反射して生じる迷光を低減し、これによる画質劣化を低減できる。

[0050] 図8は、受光部12近傍の拡大断面図である。本実施の形態では、画素レンズ14が受光部12に対して位置ずれしているので、画素レンズ14の入射側の頂点とこの画素レンズ14に対応する受光部12の中心とを結ぶ直線14aに対して角度 θ 以下の角度の光線であれば、受光部12に入射することができる。 α は微小レンズ21からの光線2の受光部12に対する入射角である。 ϕ は直線14aと、受光部12が配置された第1平面の法線10aとがなす角度である。微小レンズ21からの光線2が、けられることなく受光部12に入射するためには、 $\alpha - \phi \leq \theta$ である必要がある。

[0051] 実施の形態2で説明したのと同様に、画素レンズ13の開口数をNAとすると、角度 θ はNAに依存し、 $\theta = \arcsin \text{NA}$ がほぼ成立する。また、図7に示すように、微小

レンズ21の焦点距離を f 、1つの微小レンズ21に対応する単位撮像領域(即ち、固体撮像素子10のうち、1つの結像ユニット40の光軸21aに沿った投影領域)に外接する円の直径を L とすると、光軸21aから最も遠い画素(受光部12)において入射角 $\alpha = \arctan(L/f)$ である。

[0052] 従って、

$$\arctan(L/f) - \phi \leq \arcsin NA \cdots (3)$$

を満足する必要がある。

[0053] 光軸21aから最も遠い画素11の受光部12について上記式(3)を満足するとき、実施の形態1、2と同様に、微小レンズ21からの光束は、対応する全ての受光部12に、固体撮像素子10の構造物によってほとんどけられることなく入射する。

[0054] 画素レンズ14がその製造プロセス上の理由により完全な球面レンズでないことが多いため、上述した $\theta = \arcsin NA$ の関係が成立しない場合も存在する。しかしながら、そのような場合であっても、上記式(3)を満足することにより光量損失を抑制することが可能である。

[0055] 固体撮像素子10からの出力信号に基づいて画像を得る方法は実施の形態1と同様である。本実施の形態によれば、実施の形態1、2の場合と同様に、高画質画像を得ることができる。

[0056] (実施の形態4)

本発明の実施の形態4の撮像装置を、実施の形態1〜3との相違点を中心に説明する。図9は、本実施の形態の撮像装置の1つの結像ユニット40の、微小レンズ21の光軸21aを含む面での断面図である。本実施の形態では、実施の形態2と同様に、固体撮像素子10の受光部12の入射側に、受光部12と一対一に対応して画素レンズ(第1画素レンズ)13が設けられている。但し、実施の形態2とは異なり、本実施の形態では、画素レンズ13と受光部12との間に、更に第2画素レンズ(層内レンズ)15が設けられている。第1画素レンズ13の光軸と第2画素レンズ15の光軸とは一致する。実施の形態1〜3と同一機能を有する要素には同一の符号を付してそれらについての説明を省略する。

[0057] 第2画素レンズ15は、第1画素レンズ13と同様に、集光効率を改善し、光量ロス

低減し、受光感度を向上させる。従って、画素レンズ13に加えて第2画素レンズ15を有する本実施の形態では、受光部12に入射可能な光線の最大入射角 θ は、第2画素レンズ15を有しない実施の形態2に比べて拡大する。

[0058] この場合においても、第1画素レンズ13と第2画素レンズ15とからなる光学系の開口数をNAとして、結像ユニット40内において光軸21aから最も遠い画素11の受光部12について実施の形態2で説明した式(2)を満足することが好ましい。これにより、実施の形態2で説明したのと同様に、高画質画像を得ることができる。

[0059] なお、図9では、実施の形態2で説明した図5の光学系に第2画素レンズ15を追加した場合を説明したが、実施の形態3で説明した図7の光学系に、同様に第2画素レンズ15を追加することもできる。このとき、第2画素レンズ15の光軸は、画素レンズ14の光軸とほぼ一致させる。この場合にも、画素レンズ14と第2画素レンズ15とからなる光学系の開口数をNAとして、結像ユニット40内において光軸21aから最も遠い画素11の受光部12について実施の形態3で説明した式(3)を満足することが好ましい。これにより、実施の形態3で説明したのと同様に、高画質画像を得ることができる。

[0060] (実施の形態5)

実施の形態1〜4において説明した式(1)〜式(3)は、結像ユニット40間において、被写体90の同一位置の信号の強度の差を小さくすることにより、画像品質を向上させることを意図している。これに対して、本実施の形態では、一つの結像ユニット40内における受光部12の位置に起因する信号強度の差を小さくすることにより、画像品質を向上させる手法を説明する。

[0061] 被写体が無模様の均一な明るさの平面である場合、一つの結像ユニット40に含まれる受光部12に入射する光束の光量は、一般に、微小レンズ21の光軸21aの近傍の受光部ほど大きく、光軸から遠い受光部ほど小さくなる。従って、図4(B)で示した位置 $(i, k)_{(m, n)}$ にある受光部12からの信号 $I(i, k)_{(m, n)}$ の強度は、微小レンズ21の光軸21aの近傍の受光部からのものほど大きく、光軸から遠い受光部からのものほど小さくなる。このように画面の周辺部では信号強度が小さいために、画面周辺部でのコントラストが低下し、再構築される画像の解像度が低下したり、画像の再構築が困難となったりする。このような信号強度の不均一は、上述した式(1)〜式(3)では解消

することができない。

- [0062] 本実施の形態における信号処理を図10により説明する。図4(A)と同一の構成要素には同一の符号を付してそれらについての説明を省略する。
- [0063] 図4(A)で説明したのと同様に、信号 $I(x, y)$ を読み出し(ステップ101)、結像ユニット40ごとに画像を再構成(ステップ103)した後、本実施の形態では、結像ユニット40ごとの画像を構成する信号 $I(i, k)_{(m, n)}$ に対して補正処理を行う。
- [0064] 補正処理に先立って、結像ユニット40内の全ての受光部12について、その位置 $(i, k)_{(m, n)}$ に対応した補正係数 $A(i, k)_{(m, n)}$ を予め設定し、メモリなどに記憶しておく。この補正係数テーブルは、無模様で均一な明るさの被写体を撮影したとき、結像ユニット40内の各受光部12に入射する光量バラツキを解消するためのものである。例えば、微小レンズ21の光軸21aに最も近い受光部12の補正係数を1とし、光軸21aより遠い受光部12ほど補正係数を徐々に大きく設定することができる。あるいは、光軸21aから最も遠い受光部12の補正係数を1とし、これより光軸21aに近い受光部12ほど補正係数を徐々に小さな値(但し、補正係数は0より大きい)に設定することができる。
- [0065] そして、位置 $(i, k)_{(m, n)}$ の信号 $I(i, k)_{(m, n)}$ に対して、補正係数テーブルの補正係数 $A(i, k)_{(m, n)}$ を順に乗じて、補正後の $I'(i, k)_{(m, n)}$ を得る(ステップ104)。
- [0066] その後、この補正後の $I'(i, k)_{(m, n)}$ を用いて、図4(A)で説明したのと同様に、画像を再構築する(ステップ105)。
- [0067] 以上のように、本実施の形態によれば、各結像ユニット40において、微小レンズ21の光軸21aから遠い受光部12ほど入射光量が低下することにより出力信号強度するという問題を解消できる。その結果、周辺部まで高画質の画像を得ることができる。
- [0068] (実施の形態6)
- 図11は本発明の実施の形態6に係る撮像装置の概略構成を示した斜視図、図12は本発明の実施の形態6に係る撮像装置の隣り合う2つの微小レンズ121の光軸を含む面で切断した断面図である。
- [0069] 図11および12において、撮像装置は、第1平面内に縦横方向に配列された多数の画素111を備える固体撮像素子110(例えば、CCDやCMOS)と、第1平面と平

行で且つ離間した第2平面内に縦横方向に配列された複数の微小レンズ21を備える微小レンズアレイ120とを含む。1つの微小レンズ121に対して複数の画素111からなる単位撮像領域が対応する。固体撮像素子110は、光電変換を行う光電変換部分(受光部)112を各画素111ごとに備え、更に、多数の画素111の入射側に画素111に一对一に対応して多数の画素レンズ113を備えている。

[0070] 被写体からの光束は複数の微小レンズ121に入射して、各微小レンズ121は、対応する単位撮像領域の画素111上に被写体の光学像を形成する。隔壁層30は、微小レンズ121からの光がその微小レンズ121には対応しない画素111に入射して、クロストークが生じるのを防止するために、微小レンズ121の配置に対応して格子枠状に配置される。

[0071] 1つの微小レンズ121と、隔壁層130により分割された1つの空間と、該微小レンズ121に対応する複数の画素111と、この複数の画素にそれぞれ対応する複数の画素レンズ113とが、1つの結像ユニット140を構成する。なお、隔壁層130は、異なる結像ユニット140の微小レンズ121からの光束が画素111に入射するのを問題のない程度に防止できるのであれば、省略可能である。

[0072] 図13は、図12に示した撮像装置の断面図のうちの1つの結像ユニット140の拡大断面図である。図13では隔壁層130は省略している。

[0073] CCDやCMOSなどに代表される固体撮像素子110において、各画素111に配置された光電変換を行う受光部(光電変換部分)112は、一般に、固体撮像素子110の表面ではなく、図12及び図13のように凹部内の底部に配置されている。従って、受光部112に入射できる光線の入射角度には上限が存在する。図13から明らかなように、微小レンズ121の光軸121aから遠い位置にある受光部112ほど、微小レンズ121からの光線の入射角度が大きくなる。

[0074] 画素レンズ113は、「オンチップレンズ」とも呼ばれ、受光部112以外のところに結像しようとする光束を受光部112に導く。画素レンズ113の配置ピッチはほぼ等間隔であり、受光部112の配置ピッチよりも小さい。図13に示すように、微小レンズ121の光軸121a上又はその近傍に位置する一つの受光部112の中心線(受光部112の中心を通る第1平面に垂直な直線)112aと、この受光部112に対応する画素レンズ1

13の光軸113aとはほぼ一致する。

[0075] 即ち、この受光部112の中心線112aと、この受光部に対応する画素レンズ113の光軸113aとは、微小レンズ121の光軸121aとはほぼ一致する。この画素レンズ113を除く他の画素レンズ113の光軸113aは、対応する受光部112の中心線112aに対して、光軸121aに接近する方向に第1平面内において位置ずれしている。光軸113aの中心線112aに対する位置ずれ量は、光軸121aからの距離が大きい画素ほど大きい。光軸121aと平行な方向から見たとき、画素レンズ113の有効径は、対応する受光部112の受光領域より大きい。

[0076] このように、受光部112より大きな有効径を有する画素レンズ113を受光部112の入射側に設け、更に、画素レンズ113の光軸113aを対応する画素111の受光部112の中心線112aに対して微小レンズ121の光軸121aに接近する方向に位置ずれさせることにより、集光効率を改善し、光量ロスを低減し、受光感度を向上させることができる。また、受光部112以外の部分で反射して生じる迷光を低減し、これによる画質劣化を低減できる。

[0077] なお、上記の実施形態では画素レンズ113の配置ピッチは等間隔としたが、本発明はこれに限定されず、画素レンズ113の配置ピッチが異なってもよい。

[0078] また、上記の実施形態では微小レンズ121の光軸121aと、一つの受光部112の中心線112aと、この受光部112に対応する画素レンズ113の光軸113aとがほぼ一致していたが、本発明はこれに限定されない。即ち、何れの受光部112の中心線112aも微小レンズ121の光軸121aと一致していなくても良く、また、全ての画素において、画素レンズ113の光軸113aがこれに対応する受光部112の中心線112aに対して位置ずれしていても良い。

[0079] 図14は、受光部112近傍の拡大断面図である。図14において、法線110aは、受光部112が配置された第1平面に対して規定される。 θ は受光部112に入射可能な光線の最大入射角である。 α は微小レンズ121からの光線2の受光部112に対する入射角である。画素レンズ113が受光部112に対して位置ずれしているので、画素レンズ113の入射側の頂点とこの画素レンズ113に対応する受光部112の中心とを結ぶ直線113bに対して角度 θ 以下の角度の光線であれば、受光部112に入射す

ることができる。 ϕ は直線113bと、受光部112が配置された第1平面の法線110aとなす角度である。微小レンズ121からの光線102が、けられることなく受光部112に入射するためには、 $\alpha - \phi \leq \theta$ である必要がある。

- [0080] ここで、画素レンズ13の開口数をNAとすると、最大入射角 θ はNAに依存し、 $\theta = \arcsin NA$ がほぼ成立する。また、図13に示すように、微小レンズ121の焦点距離を f 、1つの微小レンズ121に対応する複数の画素111が配置された領域(即ち、固体撮像素子110のうち、1つの結像ユニット140の光軸121aに沿った投影領域)に外接する円141(図1参照)の直径を L とすると、光軸121aから最も遠い画素(受光部112)において入射角 $\alpha = \arctan(L/f)$ である。従って、前述した以下の(3)式、

$$\arctan(L/f) - \phi \leq \arcsin NA \quad \cdots (3)$$

を満足する必要がある。

- [0081] 本実施形態では、光軸121aから最も遠い画素111の受光部112について上記式(3)を満たすように L 、 f 、 ϕ および NA の値を設定している。光軸121aから最も遠い画素111の受光部112について上記式(3)を満足するとき、微小レンズ121からの光束は、対応する全ての受光部112に、固体撮像素子110の構造物によってけられることなく入射する。より正確には、上記式(3)を満足するとき、微小レンズ121からの光束が無収差の場合には、損失なく光束が受光部112に入射し、収差を含む場合には、光束の損失を最低限に抑えることができる。

- [0082] なお、上記において、光軸121aは上記外接円141の中心をほぼ通過し、この外接円141の直径 L は、通常は、微小レンズ121の有効部に外接する円の直径に一致する。更に、本実施形態では、光軸121aに沿って見た結像ユニット140の形状は略正方形であるから、直径 L はこの正方形の対角線の長さに一致する。但し、光軸121aに沿って見た結像ユニット140の形状は略正方形である必要はなく、長方形であってもよい。長方形の場合にも直径 L は対角線の長さに一致する。

- [0083] 次に、固体撮像素子110の各受光部112に入射した光束から画像を得る方法を図15(A)及び図15(B)を用いて説明する。図15(A)に示すように、結像ユニット140ごとに、微小レンズアレイ120の微小レンズ121は、被写体190の光学像191を固体撮像素子110上に結像する。固体撮像素子110の各受光部112は入射した光束を光

電変換する。ここで、固体撮像素子110の垂直軸をx軸、水平軸をy軸とし、位置(x, y)にある受光部112からの信号を $I(x, y)$ とすると、固体撮像素子110に含まれる全ての受光部112についての信号 $I(x, y)$ が読み出される(ステップ201)。

[0084] 次に、この各受光部112からの信号 $I(x, y)$ を結像ユニット140ごとに分割する。即ち、図15(B)に示すように、受光部112がm列×n行に配置された結像ユニット140内の第i列、第k行の位置にある受光部112の位置を $(i, k)_{(m, n)}$ とし、この受光部112からの信号を $I(i, k)_{(m, n)}$ とすると、上記各信号 $I(x, y)$ を結像ユニット140内における信号 $I(i, k)_{(m, n)}$ として扱う。この結果、結像ユニット140ごとにm列×n行の画素からなる画像が再構成される(ステップ203)。

[0085] その後、異なる結像ユニット140間において、信号 $I(i, k)_{(m, n)}$ を処理して1枚の画像を再構築する(ステップ205)。この信号処理としては、上記特許文献2に記載された方法を用いることができ、その詳細説明を省略する。結像ユニット140内における被写体の光学像191の形成位置が結像ユニット140ごとに異なるために、位置 (i, k) が同じ受光部112からの信号 $I(i, k)_{(m, n)}$ は結像ユニット140ごとに異なる。従って、1つの結像ユニット140に含まれる受光部112の数(m×n個)を遙かに超えた高解像度の画像が得られる。

[0086] 本実施形態によれば、各結像ユニット140において、微小レンズ121からの光束は、全ての受光部112に、固体撮像素子110の構造物によってけられることなく入射する。従って、受光部112に、その位置にかかわらず、十分な光が入射し、高コントラストの信号 $I(x, y)$ が得られる。その結果、被写体の微細な構造まで再構築することができる。

[0087] また、上記の信号処理において、被写体190の同一位置の信号の強度が結像ユニット140ごとに異なると、再構築される画像のコントラストや解像度が低下するなどの画質劣化を生じる。本実施形態の撮像装置は、上記の式(3)を満足することにより、各結像ユニット140を構成する全ての受光部112に、光束がけられなく入射するので、結像ユニット140間において、被写体190の同一位置の信号の強度差を小さくすることができる。この結果、高画質画像を得ることができる。

[0088] さらに、光束のけられを抑えることができるので、反射した光束が意図しない受光部

112に入射するのを低減できる。従って、迷光による画質劣化を防止できる。

[0089] なお、各実施の形態にかかる撮像装置は、以下の発明の構成を含んでいる。

(A)被写体の像を電氣的な画像信号として出力可能な撮像装置であって、第1平面に2次元配列され、それぞれ光電変換機能を有する画素を含む固体撮像素子と、第1平面と平行で且つ離間した第2平面内に2次元配列される微小レンズからなるレンズアレイとを備え、固体撮像素子は、複数の前記画素からなる単位撮像領域を含み、各微小レンズは、それぞれ対応する単位撮像領域に被写体の光学像を形成するとともに、各画素は、入射側にそれぞれ画素レンズを有し、少なくとも一つの画素レンズは、対応する画素の光電変換部分の中心に対して、微小レンズの光軸に接近する方向にその光軸を位置ずれさせて配置されている、撮像装置。

[0090] 上記の撮像装置によれば、各結像ユニットにおいて、微小レンズから受光部に入射する光束の光路を画素レンズにより受光部の方向へ曲げることができ、受光部への入射角を小さくすることができる。従って、光損失が少なく、且つ迷光の発生を抑えることができるので、周辺部まで高画質の画像を得ることができる。

[0091] また、(A)において、画素レンズは、対応する画素の光電変換部分の中心に対して、その光軸の位置ずれ量が、対応する微小レンズの光軸からの距離が大きいほど大きい。これにより、微小レンズの光軸からの距離が大きいために、微小レンズからの光束の入射角が大きくなっても、光束の光路を画素レンズにより受光部の方向へ大きく曲げることができるので、各受光部への入射角を小さくすることができる。従って、各結像ユニットにおいて、微小レンズの光軸から遠い画素の受光部ほど入射光量が低下し、これにより出力信号強度が低下するという問題を解消できる。その結果、周辺部まで高画質の画像を得ることができる。

[0092] また、(A)において、各微小レンズに対応する単位撮像領域に含まれる画素のうち、その微小レンズの光軸に対して最も遠い位置にある画素について下記式(3)を満足する。

$$\arctan(L/f) - \phi \leq \arcsin NA \cdots (3)$$

ただし、

θ : 各前記画素に入射可能な光線の最大入射角、

f :各前記微小レンズの焦点距離、

L :1つの前記微小レンズに対応する前記単位撮像領域に外接する円の直径、

NA :各前記画素レンズの開口数、

ϕ :前記第1平面の法線に対して前記画素レンズの入射側の頂点と前記単位撮像領域の中心とを結ぶ直線がなす角度、である。

[0093] これにより、受光部に入射する光束の入射角が適切に規制され、光束がけられることがない。よって、光損失を一層低減でき、且つ迷光の発生を一層抑えることができる。

産業上の利用可能性

[0094] 本発明の撮像装置の利用分野は特に限定されないが、薄型で高画質画像を得ることができるので、特に小型、薄型のPDAや携帯電話端末等の携帯機器やIDやクレジット機能を備えたカード等に利用することができる。

請求の範囲

- [1] 被写体の像を電氣的な画像信号として出力可能な撮像装置であって、
第1平面に2次元配列され、それぞれ光電変換機能を有する画素を含む固体撮像素子と、
前記第1平面と平行で且つ離間した第2平面内に2次元配列される微小レンズからなるレンズアレイとを備え、
前記固体撮像素子は、複数の前記画素からなる単位撮像領域を含み、
各前記微小レンズは、それぞれ対応する前記単位撮像領域に被写体の光学像を形成するとともに、
各前記微小レンズに対応する前記単位撮像領域に含まれる前記画素のうち、その微小レンズの光軸に対して最も遠い位置にある前記画素について下記式(1)を満足することを特徴とする、撮像装置：
$$\arctan(L/f) \leq \theta \quad \cdots (1)$$

ただし、
 θ : 各前記画素に入射可能な光線の最大入射角、
 f : 各前記微小レンズの焦点距離、
 L : 1つの前記微小レンズに対応する前記単位撮像領域に外接する円の直径、である。
- [2] 各前記画素は、入射側にそれぞれ画素レンズを有し、
各前記微小レンズに対応する前記単位撮像領域に含まれる前記画素のうち、その微小レンズの光軸に対して最も遠い位置にある前記画素について下記式(1)のかわりに、下記式(2)を満足することを特徴とする、請求項1に記載の撮像装置：
$$\arctan(L/f) \leq \arcsin NA \quad \cdots (2)$$

ただし、
 NA : 前記画素レンズの開口数、である。
- [3] 各前記画素は、入射側にそれぞれ画素レンズを有し、
少なくとも一つの前記画素レンズは、対応する前記画素の光電変換部分の中心に対してその光軸を位置ずれさせて配置されている、請求項1に記載の撮像装置。

- [4] 各前記微小レンズに対応する前記単位撮像領域に含まれる前記画素のうち、その微小レンズの光軸に対して最も遠い位置にある前記画素について下記式(1)のかわりに、下記式(3)を満足することを特徴とする、請求項3に記載の撮像装置：

$$\arctan(L/f) - \phi \leq \arcsin NA \cdots (3)$$

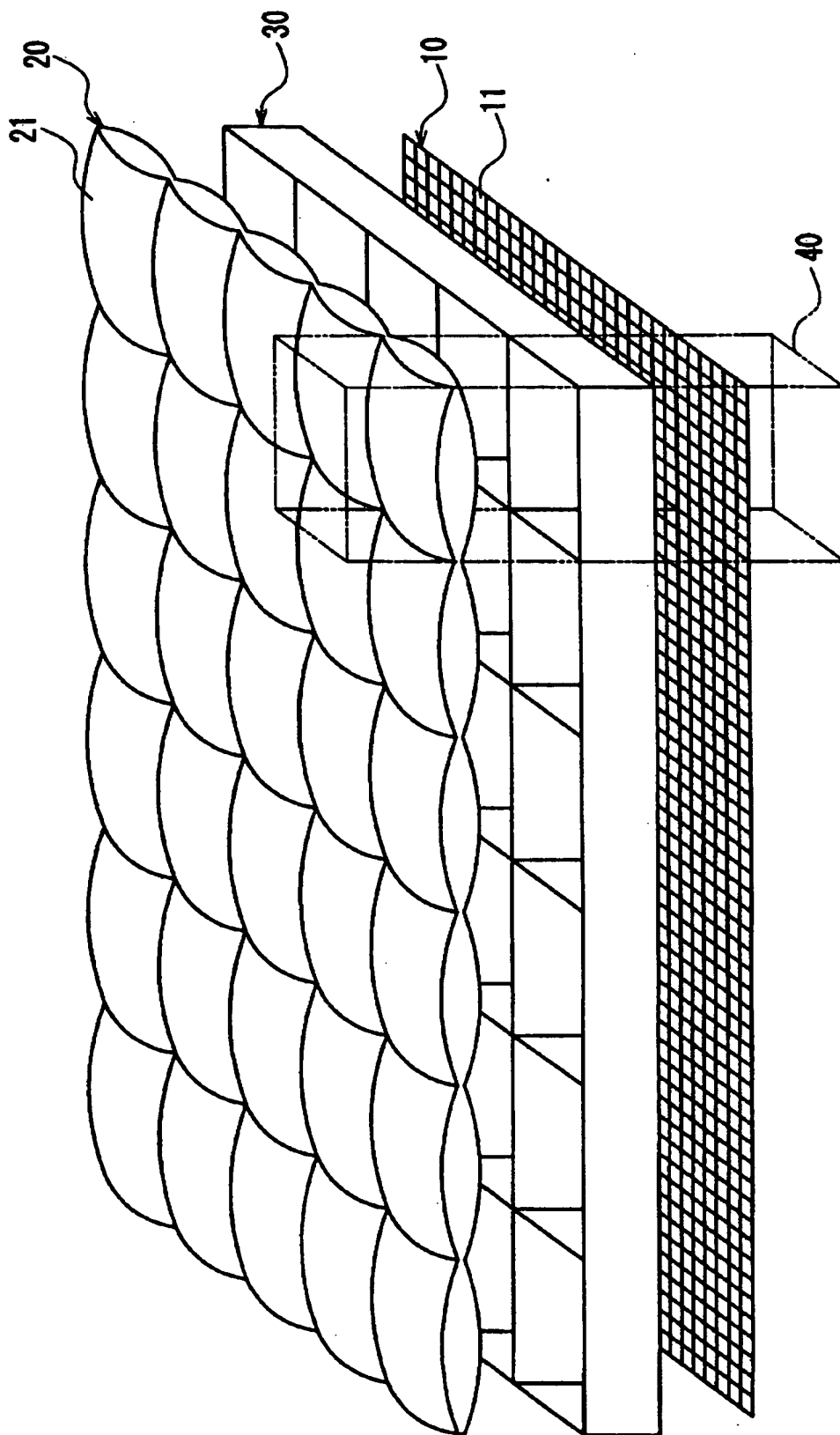
ただし、

NA:各前記画素レンズの開口数、

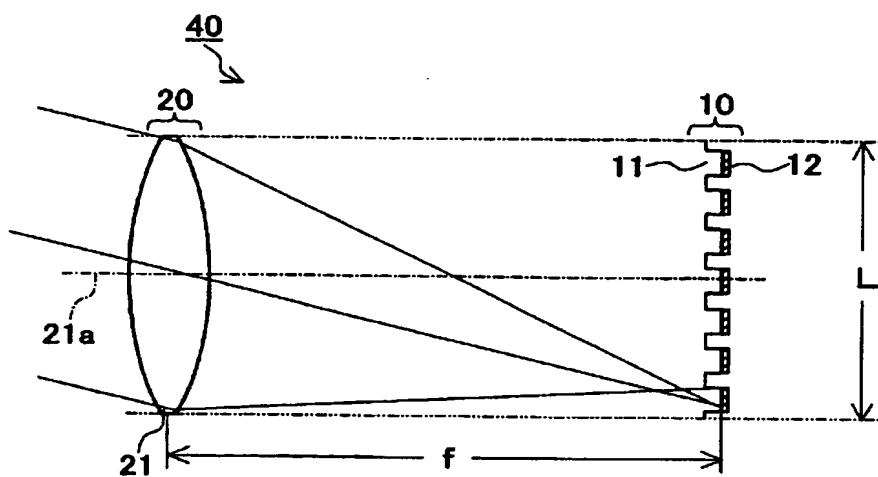
ϕ :前記第1平面の法線に対して前記画素レンズの入射側の頂点と前記単位撮像領域の中心とを結ぶ直線がなす角度、である。

- [5] 前記画素レンズは、対応する前記画素の光電変換部分の中心に対して、前記微小レンズの光軸に接近する方向にその光軸を位置ずれさせて配置されている、請求項3に記載の撮像装置。
- [6] 前記画素レンズは、対応する前記画素の光電変換部分の中心に対して、その光軸の位置ずれ量が、対応する前記微小レンズの光軸からの距離が大きいほど大きい、請求項3に記載の撮像装置。
- [7] 一つの前記単位撮像領域に含まれる各画素からの出力信号は、前記微小レンズの光軸からの各画素の距離に応じて予め設定された補正係数により補正される、請求項3に記載の撮像装置。
- [8] 前記固体撮像素子は、CCDである、請求項1に記載の撮像装置。
- [9] 前記固体撮像素子は、CMOSである、請求項1に記載の撮像装置。

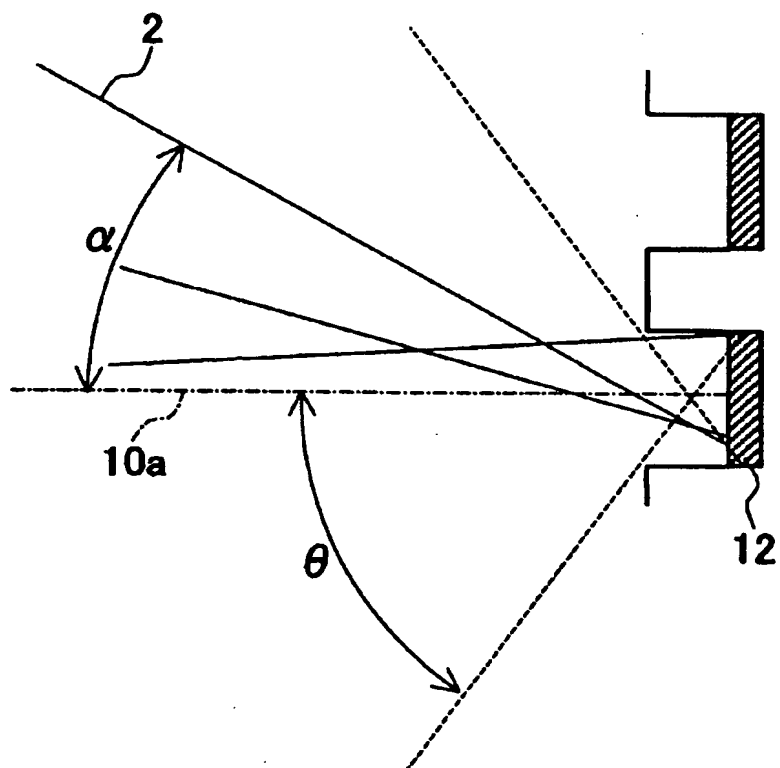
[図1]



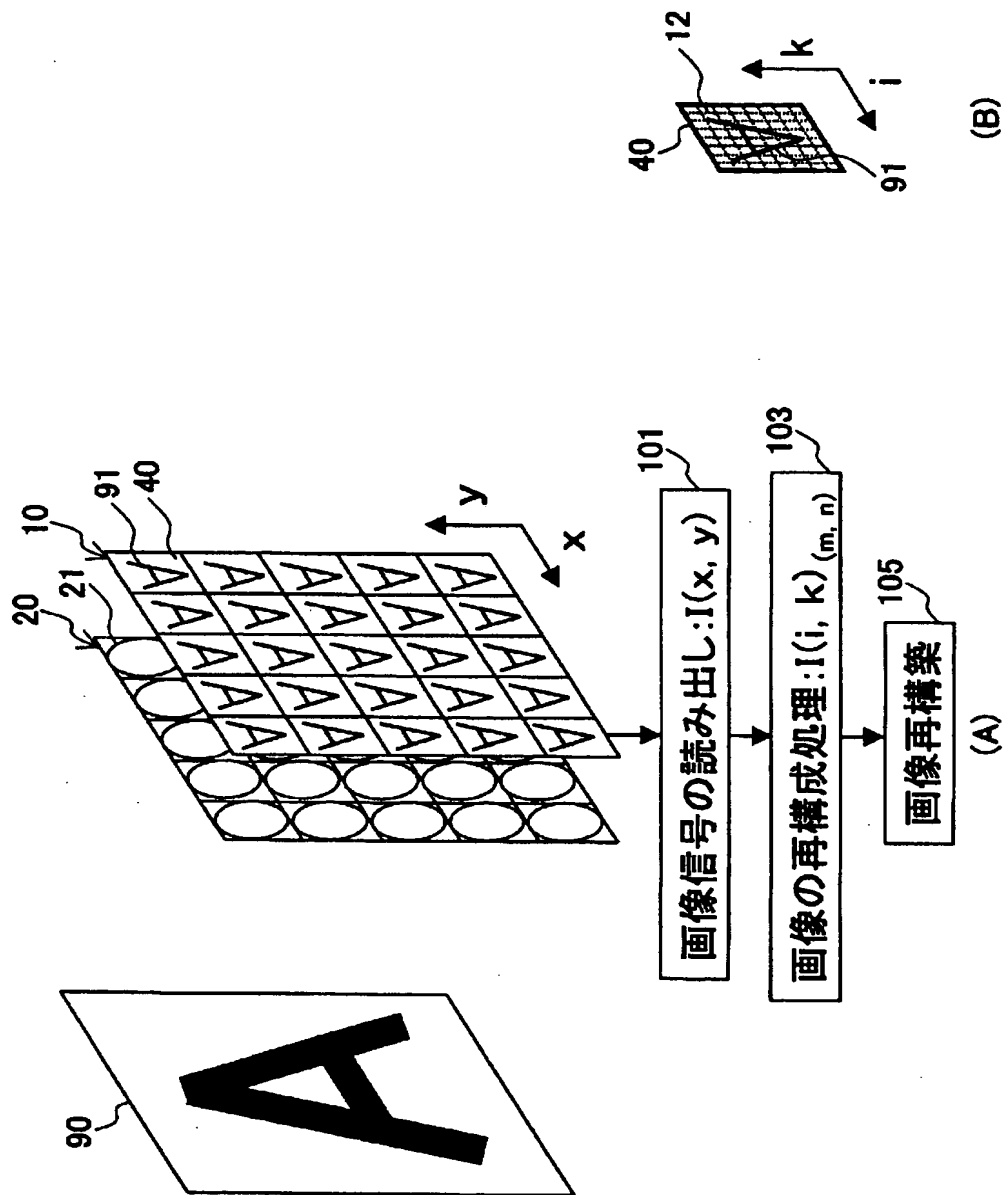
[図2]



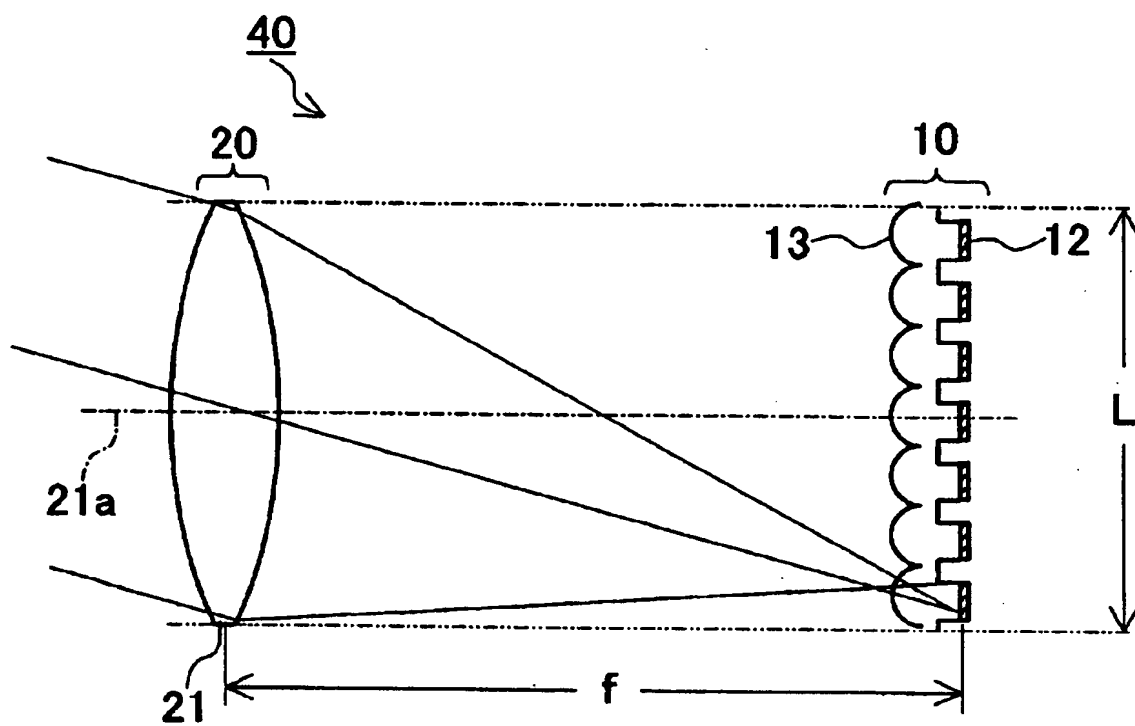
[図3]



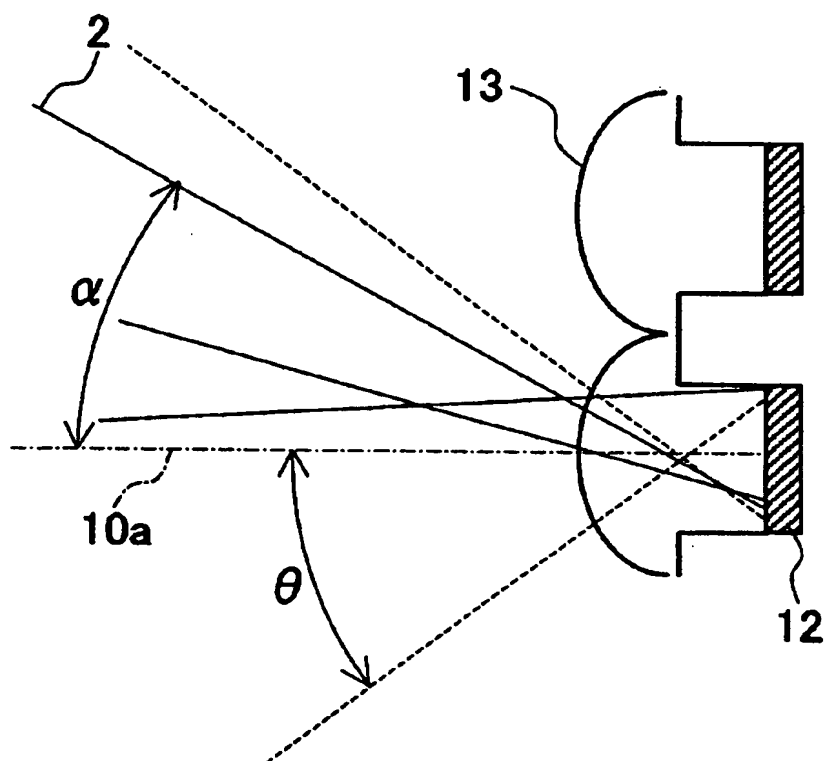
[図4]



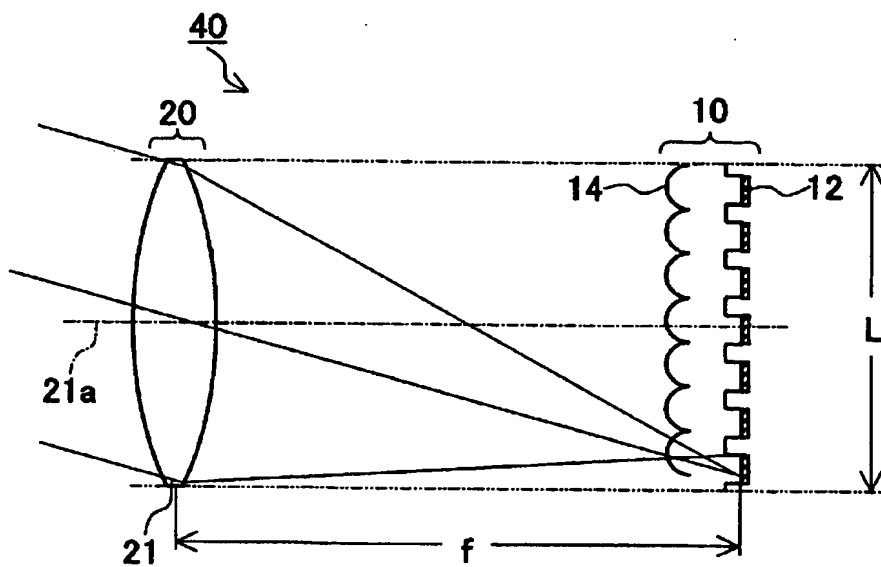
[図5]



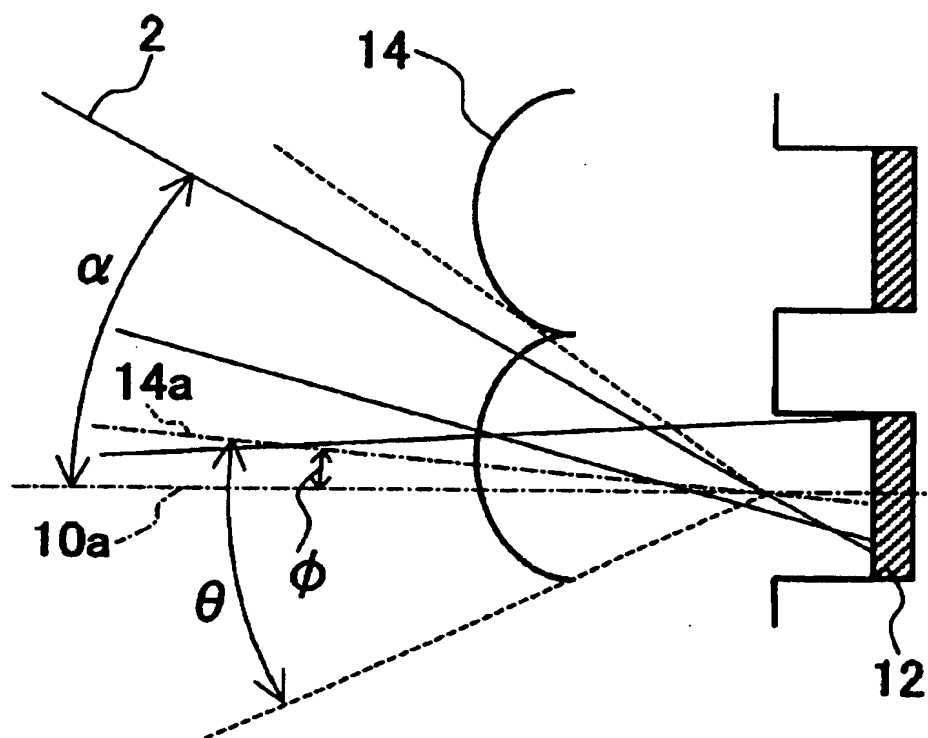
[図6]



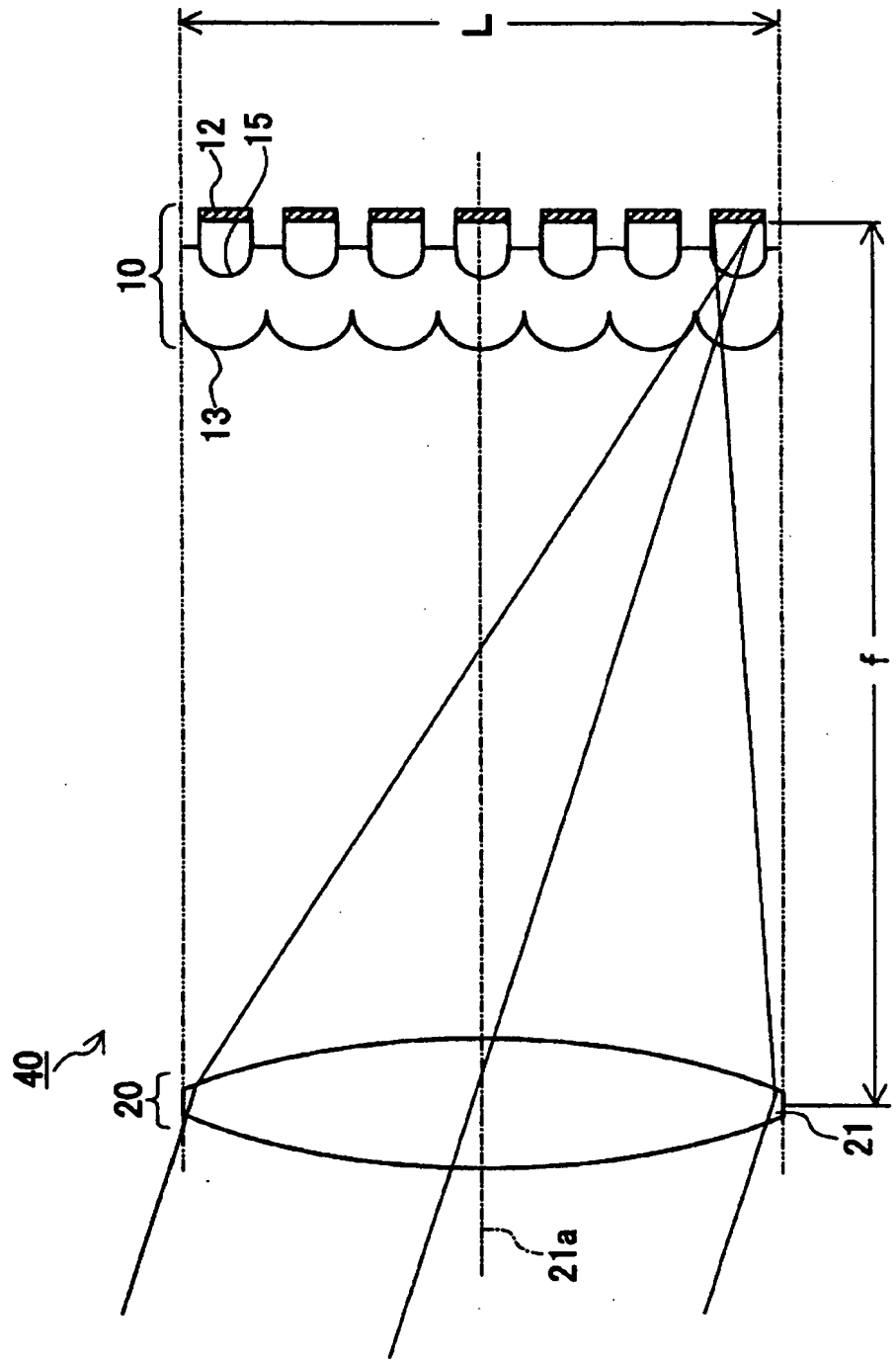
[図7]



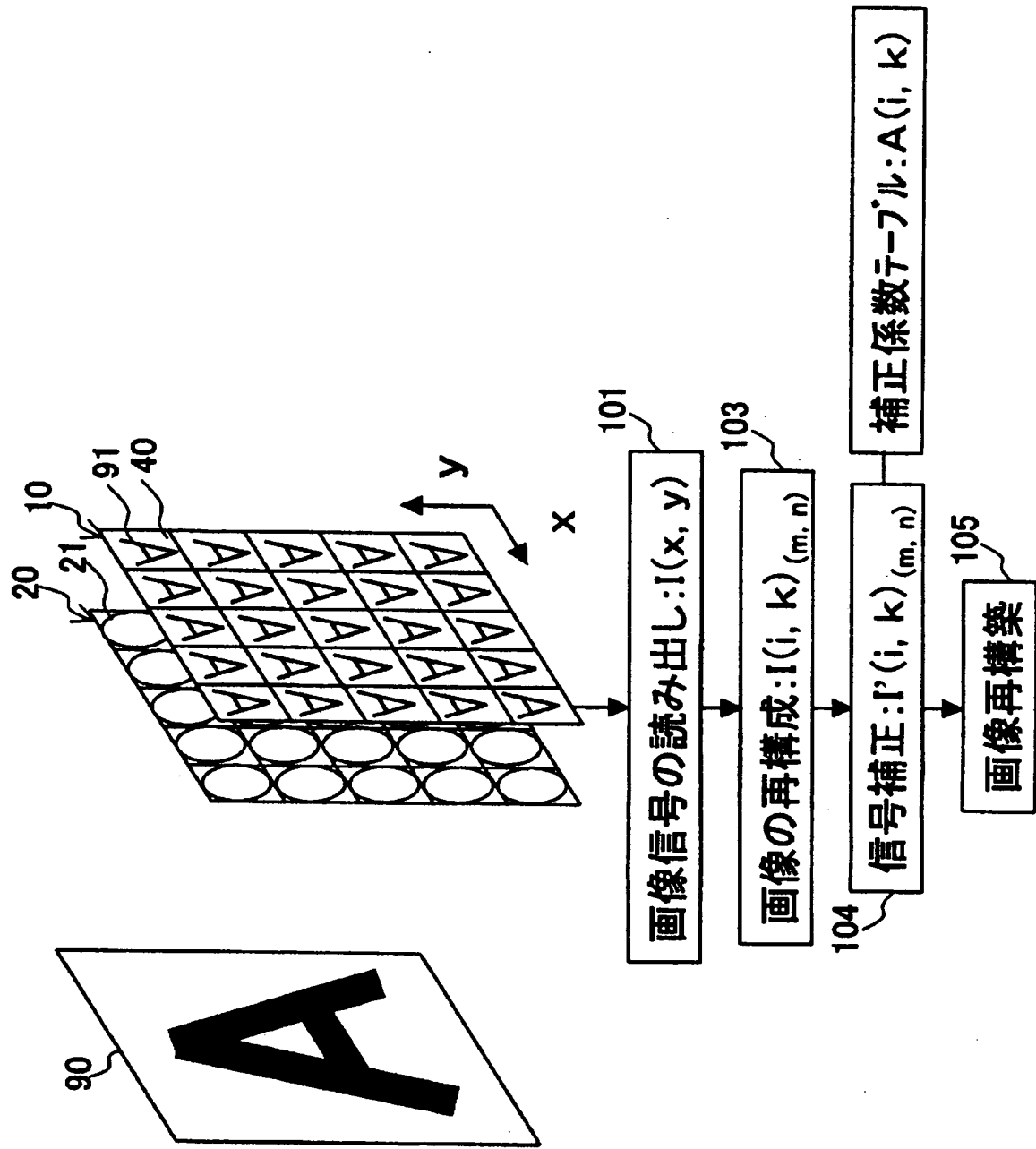
[図8]



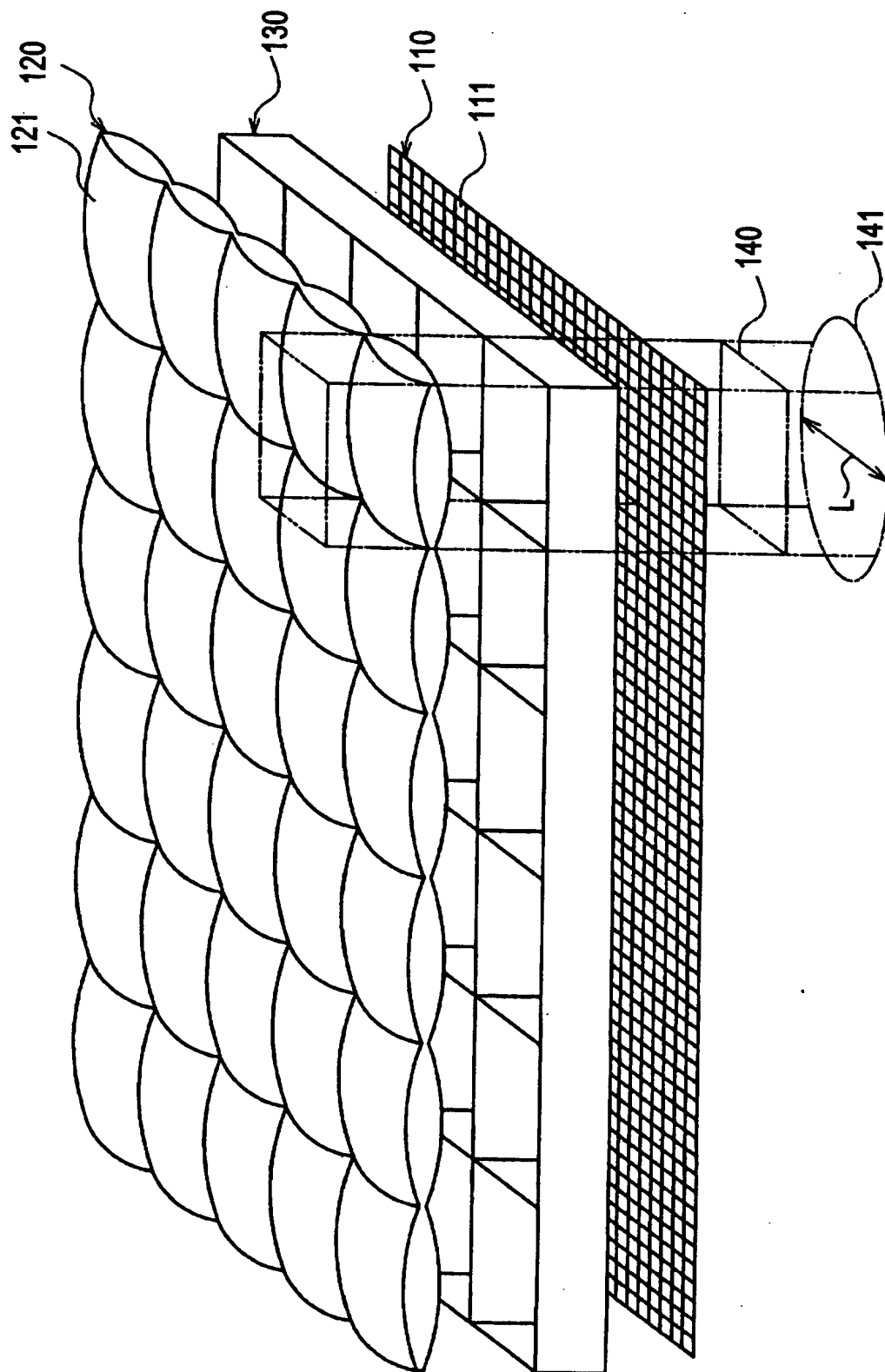
[図9]



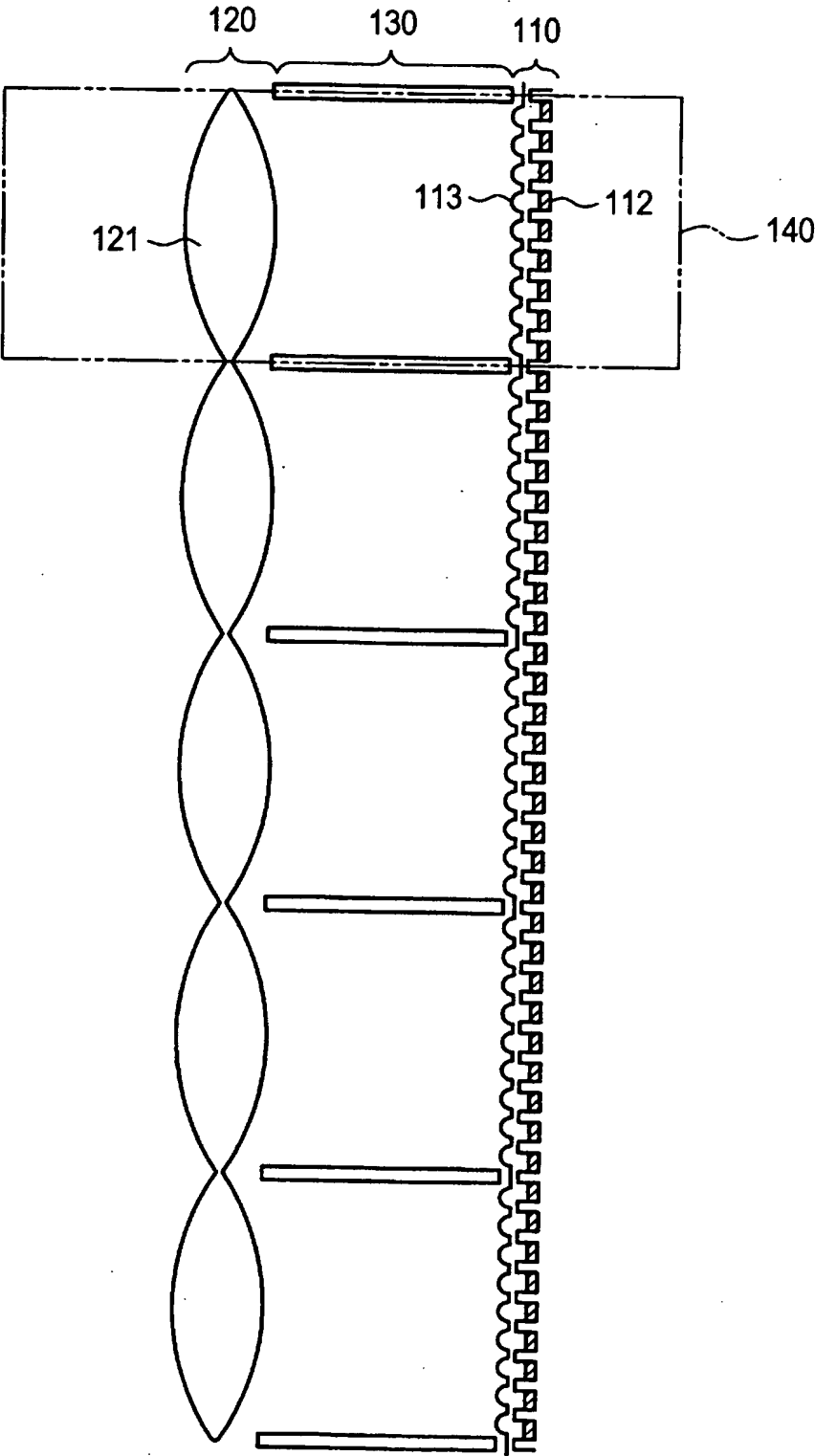
[図10]



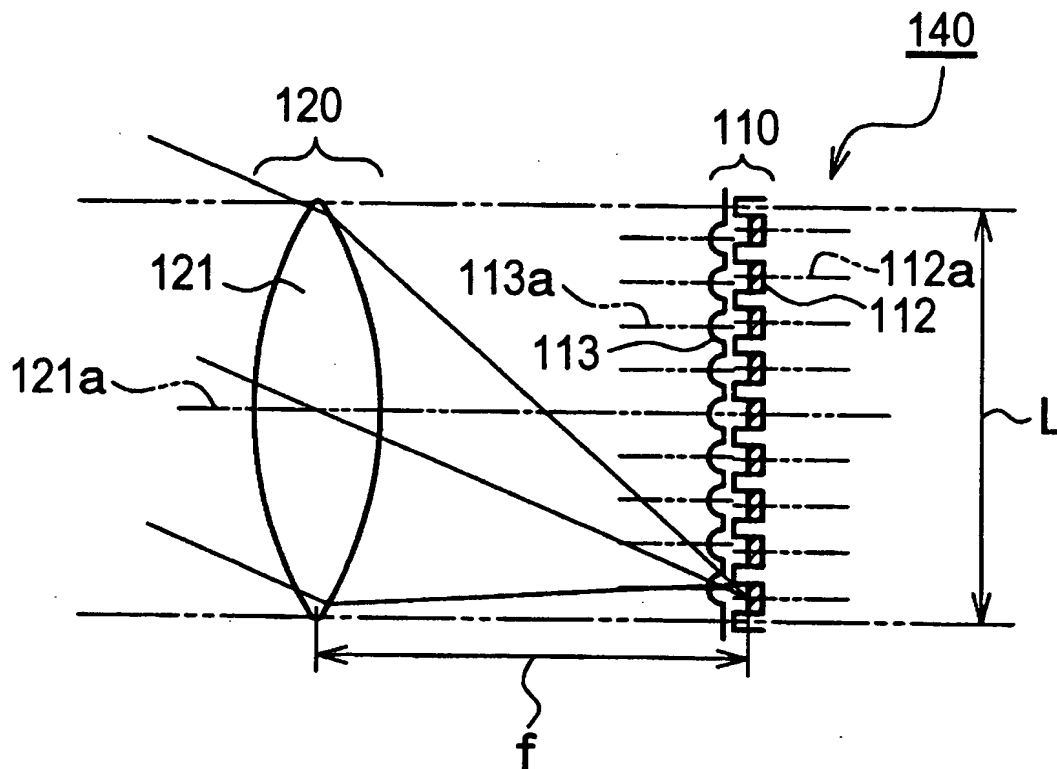
[図11]



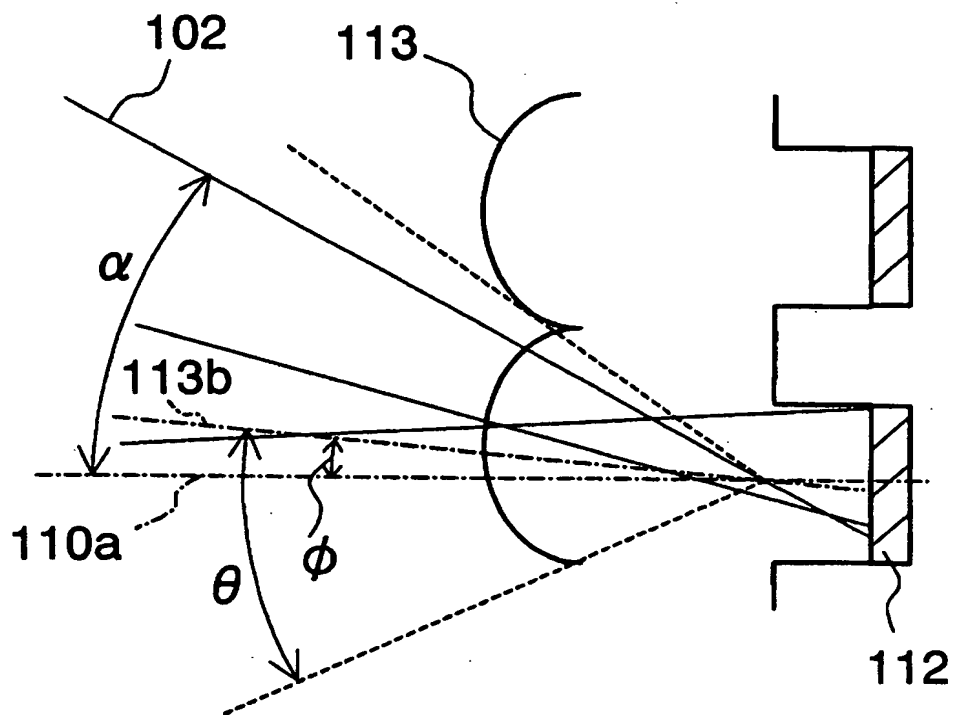
[図12]



[図13]



[図14]



[図15]

